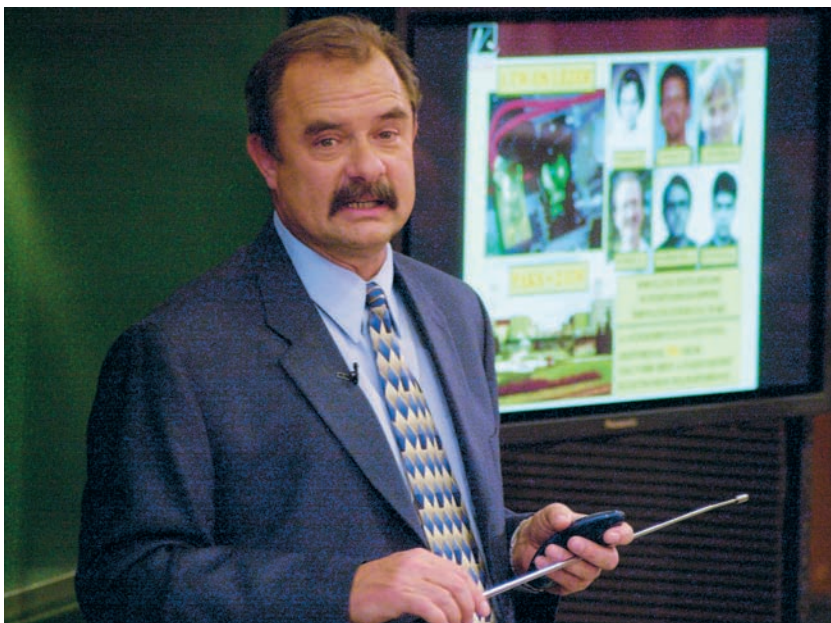


BOR ZSOLT

A mindentudó fénysugár, a lézer



*Bor Zsolt
fizikus
az MTA rendes tagja*

A CD-lemezjátszó, az áruházi vonalkód-leolvasó, a rendőrségi sebességmérő kamera, a postai és internetvonalak többsége lézereket használ. Lézertechnikával állítják elő használati tárgyaink egy részét is: a borotvapengét, a füstszűrős cigarettát, a számítógép-processzort, a mobiltelefont. De lehet lézerrel birkát nyírni, arcbőrt fiatalítani, vérösszetételt analizálni és fekélyes sebeket gyógyítani. A mindentudó fénysugár az atomórák taktusadó karmestere, fontos szerepet kap továbbá a korlátlan és tiszta energiaforrás reményével kecsegtető fúziós reaktorban ugyanúgy, mint a csillagháborús fegyverekben vagy Krisztus halotti leplének vizsgálatában. És persze egészségügyi alkalmazásai is óriási jelentőségűek: a lézertechnika a szemészetben például a szuperlátás lehetőségét ígéri. Az előadás a lézer mindennapi és különleges alkalmazásait mutatja be.

Bevezetés

A lézer szó az angol LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – fényerősítés kényszerített fénykibocsátás útján) betűszóból származik. A szó egy eszközcsalád működési elvét jelenti.

1949-ben született. 1973-ban a Kijevi Műszaki Egyetemen elektromérnöként végzett. 1982-ben a fizikai tudományok kandidátusa, 1984-ben akadémiai doktora, 1990-ben az MTA levelező, 1995-ben rendes tagja, 1993-ban pedig a londoni székhelyű Academia Europaea tagja lett. 1999–2002 között az MTA Fizikai Osztályának elnöke volt.

Pályáját a József Attila Tudományegyetemen kezdte. 1977–1989 között megszakításokkal hat évet töltött a göttingeni Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie lézerfizikai részlegében, ahol – jó részt szegedi fizikusok segítségével – több új kutatási irányt (pikuszekundumos lézerimpulzusok generálása, femtoszekundumos optika) alapozott meg. 1989-ben a Szegedi Tudományegyetemen megalapította az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéket. 1998 óta vezeti az MTA Lézerfizikai kutatócsoportját. Több külföldi egyetemen dolgozott mint kutatóprofesszor. Számos rangos nemzetközi folyóirat szerkesztőbizottságának tagja.

Főbb kutatási területei: a fotolitográfia optikai problémái, fotolitográfiai lézerek fejlesztése, jelenleg a refraktív szemsebészet és a szuperlátás céljait szolgáló lézerek fejlesztése.

*A National Ignition Facility –
a termonukleáris fúzió lézeres
gyűjtőszerkezete*

Kényszerített emisszió:

a fotonok sokszorozását lehetővé tevő jelenség, melyet Einstein 1917-ben elméleti megfontolások alapján következtetett ki. A folyamat során a megfelelően választott optikai erősítő közeg a gerjesztő foton elnyelődésére úgy reagál, hogy két, a gerjesztő fotonnal azonos hullámhosszú, rezgési fázisú és rezgési síkú fotont sugároz ki, melyek terjedési iránya megegyezik a gerjesztő fotonéval.

Optikai erősítő:

olyan anyag, mely az optikai rezonátort kitöltve a kényszerített emisszióval lejátszódó fotonok sokszorozásért felelős. Aktív közegnek is hívják, és a lézer szó jelzői gyakran utalnak e közeg tulajdonságára, például halmazállapotára (pl. gáz vagy szilárdtest lézer) vagy anyagi minőségére (pl. félvezető lézer, festéklézer).

Rezonátor:

az a tükrökkel határolt optikai üreg, melyben a lézerműködés bekövetkezik. A rezonátor tartalmazza a lézer aktív közegét, és két, egymással szemben elhelyezkedő sík- vagy gömbtükröt, melyek közül az egyik közel 100 százalékos, a másik pedig ún. félig áteresztő tükröt.



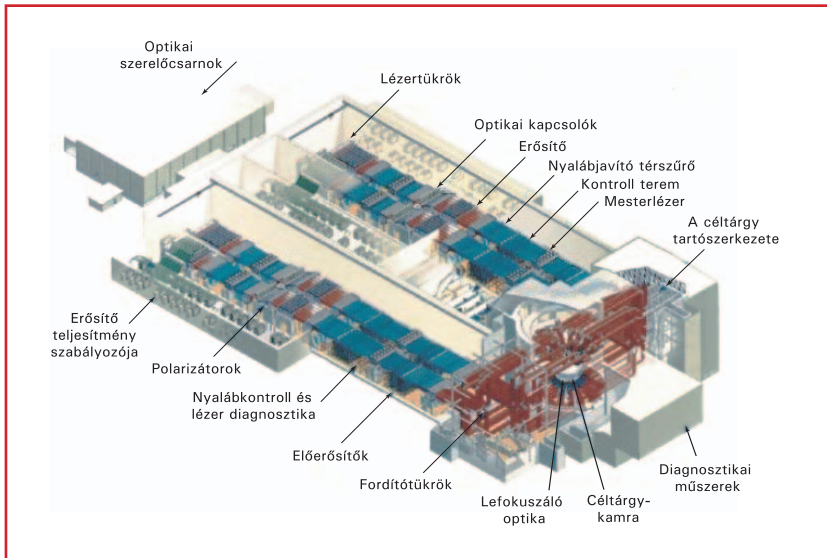
Tapasztalataink szerint a fénynyalábok valamilyen közegen keresztülhaladva általában gyengülnek. 1917-ben azonban Einstein elméleti megfontolások alapján kikövetkeztette, hogy létezik egy jelenség, a **kényszerített emisszió**, amely lehetővé teszi a fénynyalábok erősítését is.

Helyezzünk el képzeletben egy kétszeres erősítési tényezővel rendelkező **optikai erősítőt** egy négy tükörből álló ún. **rezonátor**ba. Tételezzük fel, hogy valahonnan egy egységnyi intenzitású fénynyaláb esik az erősítő bemenetére. Az erősítőn való áthaladás során a nyaláb intenzitása két egységre nő. A félig áteresztő tükrön keresztül egy egységnyi intenzitású nyaláb kiszivárog a rezonátorból, míg a nyaláb másik része a három tükrőről visszaverődve ismét az erősítő bemenetére jut. Így az egész folyamat újra kezdődhet és folytatódhat, aminek eredményeképpen a rezonátorból folytonosan egy fénynyaláb – a lézernyaláb – lép ki.

A kényszerített emisszió során keletkező erősödő fénynek négy alaptulajdonsága van: terjedési iránya, hullámhossza, rezgési fázisa és rezgési síkja azonos az erősítőbe belépő nyalábéval. Az eredmény egy tökéletesen rendezett nyaláb, amelyet koherens nyalábnak is szoktak nevezni. A koherens nyaláb széttartása rendkívül kicsi – például egy megfelelő optikával a Földtől 380 ezer kilométerre lévő Holdra juttatott lézernyaláb átmérője mindössze 50 m lesz. A koherens nyaláb másik kedvező tulajdonsága, hogy a lézer energiája egy megfelelő lencsével nagyon kis foltra (kb. egy tízmilliomod mm^2 -re) fókuszálható le.

Sokfajta lézer létezik. Ezek egymástól fizikai méretben, teljesítményben, a sugárzás hullámhosszában, előállítási költségekben lényegesen különböznek egymástól. Az alábbiakban ezt példákkal szemléltetem. A lézeres mutatópalcában és a CD-lemezjátszóban lévő ún. **félvezető lézer** mákszem nagyságú. A Szegeden kifejlesztett ún. **festéklézer** nagysága 10 cm.

A világ most készülő legnagyobb lézerrendszere, az Egyesült Államokban épülő National Ignition Facility (az irányított termonukleáris fúzió begyűjtő szerkezete) egy futballpálya alapterületű tízemeletes épületet fog kitölteni. Ez a lézerrendszer 192 független nyalábból áll.



A National Ignition Facility felépítése

Félvezető lézer:

a félvezető vagy dióda lézerben az optikai erősítő közeg egy félvezető anyag, mint például a gallium-arszenid. Jóllehet, e lézerek méretüket tekintve a miniatűr lézerek közé tartoznak, ám kiemelkedően magas hatásfokuk és alacsony áruk miatt igen elterjedtek korunk távközlési eszközei között.

Festéklézer:

a lézerek azon családja, melyben az aktív közeg egy festékolat. Jellemzően rövid fényimpulzusokat állít elő, melyek hullámhossza a festékanyagra jellemző tartományon belül változtatható/hangolható.

Femtomásodperc:

10⁻¹⁵ másodperc, azaz a másodperc milliomod részének egymilliárd része. Talán szemléletesebb az a kép, mely szerint ennyi idő alatt a 300 000 km/s sebességgel terjedő fény is csupán 0,3 mikrométer távolságra, azaz egy közepes hajszál vastagságának kevesebb mint századrészig jut.

A méretskála liliputi végén az oszlop alakú, 2 mikrométeres félvezető lézerek sorakoznak (2 mikrométer a mm ötszázad része, amely egyúttal azt is jelenti, hogy a 2 mikrométeres lézerből egy mm²-en 500×500=250 000 fér el).

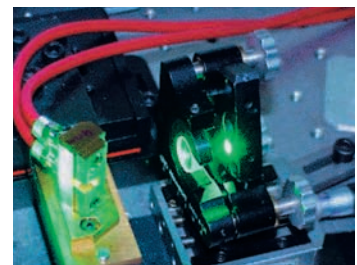
A lézeres mutatópálcában és a CD-lemezjátszóban lévő félvezető lézer teljesítménye 1 milliwatt, amely százszor kisebb, mint egy zseblámpaizzó teljesítménye. Az anyagmegmunkálási célokat szolgáló félvezető lézer teljesítménye 10 W.

A Stratégiai Védelmi Kezdeményezés (SDI, közismertebb nevén a csillagháború) levegőbe telepített rakétamegsemmisítő lézerének teljesítménye 1 megawatt.

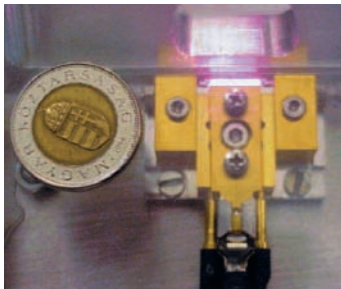
A Szegedi Egyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén épülő impulzusüzemű infravörös lézer tervezett csúcsteljesítménye 1 terawatt. (1 TW = 1 millió MW. A Paksi Atomerőmű teljesítménye 2 gigawatt, amely ötszázszor kisebb, mint az 1 TW. Ha Magyarország minden lakosának száz vasalója lenne, és mindenki az összes vasalóját egyszerre bekapcsolná, akkor a vasalók együttes teljesítménye 1 TW lenne.) Annak ellenére, hogy a lézerimpulzus csúcsteljesítménye óriási, a tanszék villanyszámlája nem magas, ugyanis a lézer mindössze 20 **femtomásodpercig** működik (20 femtomásodperc = egy másodperc milliomod része egy milliomod részének ötvened részével). Az Egyesült Államokban működő, az irányított termonukleáris fúzió begyújtására épített NOVA-lézer impulzus csúcsteljesítménye 1250 TW.

A National Ignition Facility 192 lézernyalábja a céltárgykamrában fókuszálódik a céltárgyra. A céltárgy hidrogénizotópok keveréke, térfogata a lézerimpulzus hatására várhatóan ezredrésznyre nyomódik össze, hőmérséklete 100 millió °C-ra emelkedik.

Ha minden úgy történik, ahogyan a fizikusok gondolják és szeretnék, a fenti körülmények között ember által pontosan kontrollálható módon beindul az energiatermelő termonukleáris fúzió, vagyis az a folyamat, amelyből a Nap tüze és a hidrogénbomba pusztító ereje származik. Ez a kísérlet szinte korlátlan – és környezetvédelmi szempontból tiszta – energiaforrással ajándékozhatja meg az emberiséget. Kevés olyan dolog van, ami az



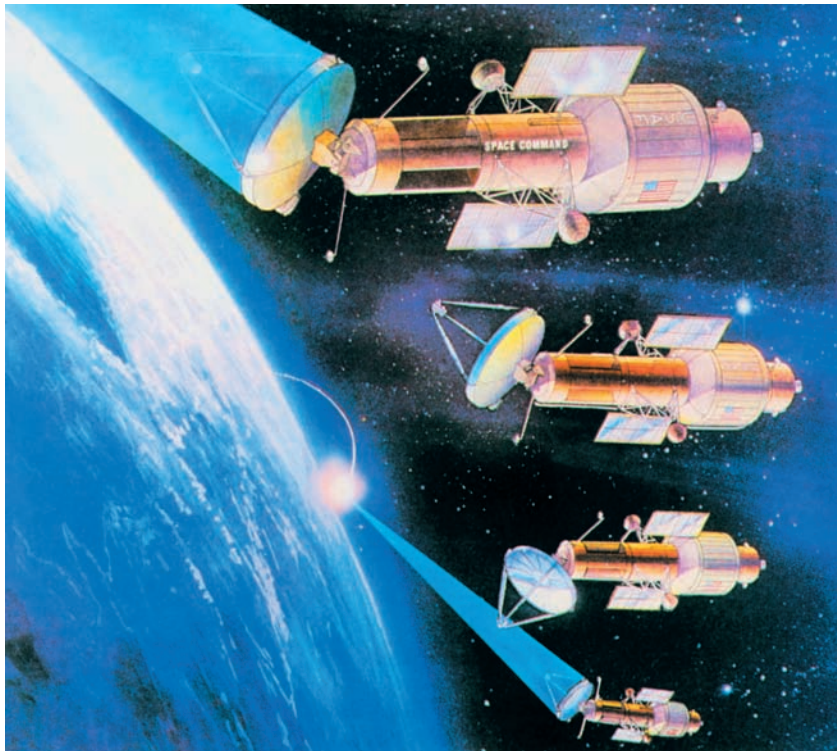
1 terawattos lézer



10 W teljesítményű anyagmegmunkáló félvezető lézer, Szeged



Űrbe telepített rakétaelhárító lézer

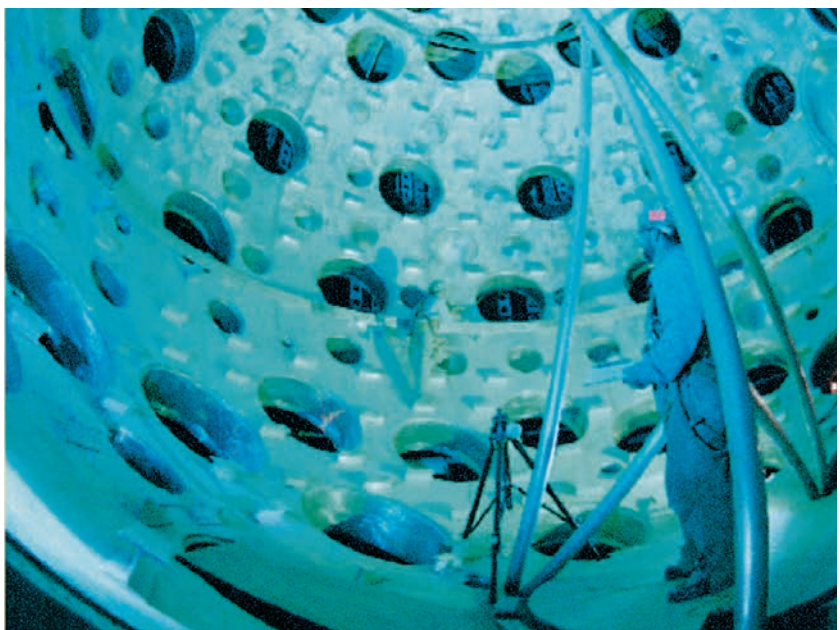


emberiség jövője szempontjából lényegesebb lehetne, mint az ilyen eszményi energiaforrás.

Lézerek a röntgen, az ultraibolya, a látható, az infravörös és a mikrohullámú tartományban szinte mindenhol működnek.

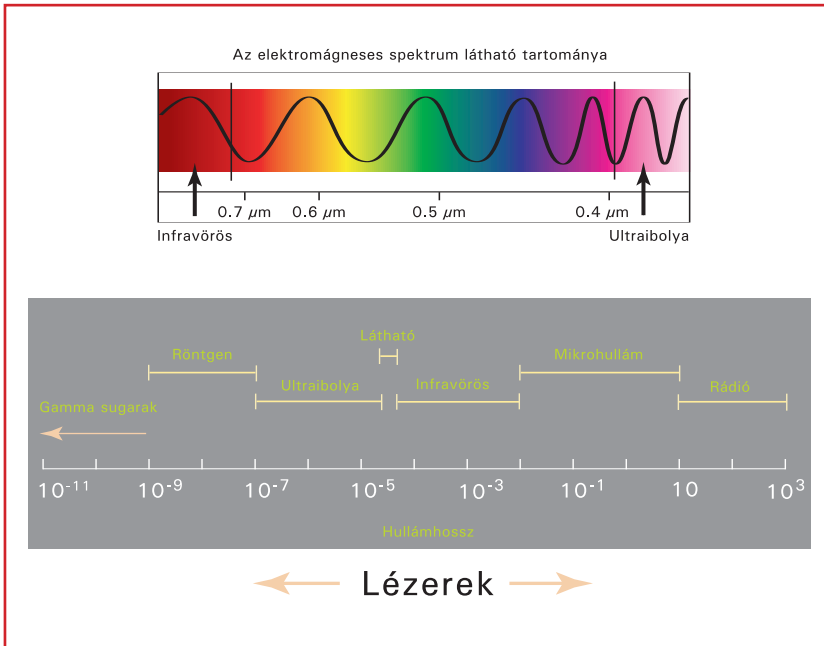
A lézeres mutatópálcában és a CD-lemezjátszóban lévő félvezető lézer (tokozás nélkül) pár centbe kerül. Az árskála másik végén található a Stratégiai Védelmi Kezdeményezés, vagyis az űrbe és levegőbe telepített lézer alapú rakétaelhárító rendszer. Ennek előállítására olyan költséges, hogy a szovje-

Céltárgykamra belülről



tek által készített másolat anyagi terhei jelentősen hozzájárultak a szocialista világrendszer gazdaságának összeroppanásához.

Az említett példák kellően igazolják, hogy a lézerek fizikai méretben, teljesítményben, a sugárzás hullámhosszában, előállítási költségeikben lényegesen különböznek egymástól. A lézerekkel kapcsolatos, főleg elméleti kutatásokért több tucat Nobel-díjat adományoztak már. Most azonban elsősorban nem az elméleti eredményekről fogok beszélni, hanem a környezetünkben fellelhető – bár sokszor észrevétlen –, józan ésszel könnyen megérthető alkalmazásokra helyezem a hangsúlyt.



Lézerek meghatározása

Mindennapi lézerek

Az alábbiakban olyan eszközök működését ismertetem, amelyek mindennapi életünk állandó szereplőivé váltak.

CD-lemezjátszó

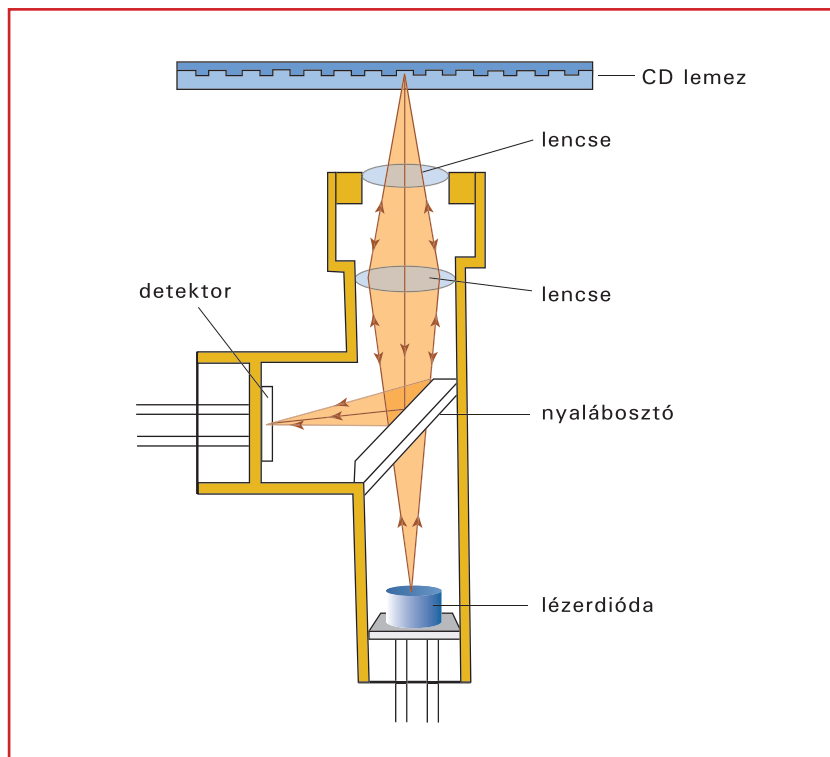
A CD-lemez a digitalizált zenei információt spirálvonal mentén elhelyezkedő gödröcskék formájában tárolja. Az információt a gödröcskék hossza hordozza. A CD-lemezen lévő információ olvasása úgy történik, hogy egy lézerdíóda fényét egy megfelelő lencserendszer a forgó CD felületére fókuszálja. A lemezről visszaverődő fény a **nyalábosztóról** a **fénydetektorra** jut. A detektorra eső fény intenzitása minden olyan pillanatban hirtelen leesik, amikor a gödröcskék pereme áthalad a fókuszponton. Ily módon a gödröcskék hossza, azaz a digitalizált zenei információ kiolvasható, dekódolható és muzsikává alakítható.

Nyalábosztó:

olyan optikai eszköz, mellyel egy fénynyaláb két vagy több különálló nyalábra bontható. Jó példa lehet a nyalábosztóra egy vékony üveglemez is, hisz ha megfelelő szögben a nyaláb útjába tesszük, akkor azt visszavert és átmenő nyalábokra bontja. Nyalábosztó bontja piros, zöld és kék komponensekre a videokamerába érkező összetett fehér fényt is.

Fénydetektor:

a ráeső fénysugárzás érzékelésére szolgáló eszköz.



CD-lemez megmunkálása

Vonalkód-leolvasó

Az áruházi vonalkód-leolvasóban lévő lézerdióda fényét egy rezgő tükör egy vonal mentén végigpásztázza a vonalkódon. A csíkrendszerrel visszaverődő lézerfény intenzitásának időbeli változását a leolvasóban lévő fénydetektor regisztrálja. Ebből az elektromos jelből a vonalkód-leolvasóhoz kapcsolt számítógép felismeri a vonalkód struktúráját, és azonosítja az árut, vagyis megkülönbözteti egymástól például a salátát, a kutyaeledelt, a borotvakrémet és a menyasszonyi ruhát.

Lézeres sebességmérő



Lézernyomtató

A lézeres gépjármű-sebességmérőben lévő lézerdióda rövid fényimpulzusokat bocsát ki. A gépjárműről visszaverődő fényimpulzust a készülékben lévő fénydetektor észleli, és egyúttal megméri a visszaverődött impulzus késését a kibocsátáshoz képest. Ismerve a fény terjedési sebességét, a gépjármű távolsága és annak időbeli változása (azaz a jármű sebessége) kiszámítható.

Lézernyomtató

A lézernyomtatóban egy lézerdióda fénye egy forgó, sokszög alakú tükörről visszaverődve egy forgó, fényérzékeny hengerre esik. A henger forgása és a forgó tükörről való visszaverődés kombinációja biztosítja, hogy a lézer fénye

a henger bármely pontját meg tudja világítani. A lézerdióda fényének intenzitását változtatva a henger palástján bármilyen kép vagy írott szöveg a lézerfényrel megjeleníthető. A fényérzékeny hengernek az a tulajdonsága, hogy a megvilágítás helyén elektrosztatikus töltések keletkeznek, vagyis a dióda segítségével rajzolt kép elektrosztatikus képpé alakul át. Ezek után a forgó hengerre finom festékporkerül, amely az elektrosztatikusan töltött helyekre feltapad. A forgó henger ezek után a feltapadt festékporképet rásajtolja és ráégeti a papírra, amelyen ily módon megjelenik a nyomtatandó kép.



Helymeghatározó

GPS (Global Positioning System), azaz globális helymeghatározó rendszer

A Föld körül 20 ezer km magasságban 24 mesterséges hold kering. Pályájuk olyan, hogy a Föld bármely pontjáról, bármely pillanatban legalább négy műhold állandóan látható. A műholdak pontos űrbeli helyzetét egy földi megfigyelőrendszer állandóan számon tartja. Mindegyik műholdon egy-egy **atomóra** van, amelyek pontossága 0,1 ns-nál jobb. (A 0,1 ns olyan rövid idő, amely alatt a fény levegőben mindössze 3 cm utat fut be. Összehasonlításképpen: a fény egy másodperc alatt hét és félszer kerül meg a Földet.) Az atomórák rádiójelek formájában folyamatosan sugározzák, hogy az ő atomórájuk szerint mennyi a pontos idő.

A **GPS** vevőegységében egy rádióvevő és egy nagyon pontos óra van. A vevőegység fogja a műholdakról származó pontos időjelzéseket és összehasonlítja saját belső órájának idejével. A rádióhullámok terjedéséhez idő szükséges, ezért a két idő között különbség van. Ha például a vevőegység azt tapasztalja, hogy az egyik műholdról származó órajel egy tizenötöd másodpercet késik a saját belső órájához képest, akkor ebből azt a következtetést vonja le, hogy az adott műhold éppen 20 ezer kilométerre van tőle. (A rádióhullámok terjedési sebessége háromszázezer km/s.) A GPS vevőegysége az előbb vázolt módon megméri három ismert helyzetű műholdtól való távolságát, majd ezekből az adatokból a térgeometria jól ismert szabályai alapján kiszámítja a vevőegység térbeli pozícióját, vagyis a földrajzi szélességi és hosszúsági fokot és a tengerszint feletti magasságot. (Emlékezzünk arra, hogy egy síkbeli pont helyzetét két ismert síkbeli ponttól való távolságból meg lehet határozni. Térbeli esetben három távolság ismerete szükséges.) A valóságban a GPS vevőegység négy műhold távolságát méri meg, mert ebben az esetben a vevőegységben található óra pontosságával szemben támasztott követelmény jelentősen csökken. (A GPS vevőegységében ezért szerencsére nem kell egy atomórát cipelni. Helyette a vevőegység egy kvarcórát használ, amelynek pontosságát egy központi atomóra rádióadón keresztül rendszeresen ellenőrzi, és szükség esetén korrigálja.)

A GPS-rendszereket kiterjedten használják a repülésirányításban, a hajózásban, a gépjárművek helyzetmeghatározásában, a mezőgazdaságban, az erdészetben, a térképészetben, a robotok irányításában. De az elsőbbség e téren is a katonai alkalmazásokat illeti. Amióta világ a világ, a katonák

Atomóra:

olyan berendezés, amelyben az abszolút nulla fok közvetlen közelébe hűtött céziumgáz mikrohullámú rezgésének periódusidejét méri meg rendkívüli pontossággal. Az Amerikai Mérésügyi Hivatalban működő NIST F1 atomórában összesen hét lézernyaláb „dolgozik” azért, hogy az óra pontossága 2×10^{-15} lehessen.

GPS:

a globális helymeghatározó rendszer angol kifejezés (Global Positioning System) rövidítése. A mérés lényege az, hogy a Föld körül 20 ezer km magasságban keringő 24 mesterséges hold közül négy segítségével meghatározható a vevőegység térbeli pozíciója, vagyis annak földrajzi szélessége, hosszúsági foka és tengerszint feletti magassága.



Atomóra

érdekérvényesítő képessége mindig jobb volt, mint bármely más érdekcsoporté.

A GPS-rendszerek pontossága elérheti az egy centimétert is. A polgári célokat szolgáló GPS-berendezések pontosságát mesterségesen lerontják kb. 20 méterre, hogy terrorista akciók végrehajtására ne lehessen felhasználni őket.

Az atomórák karmestere: a „cézium-szökőkút”

Az SI (System International; nemzetközi mértékegység-rendszer) az 1 másodpercet úgy definiálja, mint a 133-as tömegszámú céziumizotóp ún. hiperfinom átmeneti rezgési periódusidejének 9 192 613 770-szeresét. Az atomóra olyan berendezés, amely a fenti periódusidő rendkívül pontos mérésével egy órát működtet. Az óra annál pontosabb, minél alacsonyabb a céziumgáz hőmérséklete. Az Amerikai Mérésügyi Hivatalban működő NIST F1 atomórában a gáz hűtését hat, egymásra merőleges, pontosan kontrollált hullámhosszú infravörös lézernyaláb végzi. Az ilyen, ún. **Doppler-elven** működő hűtés tökélyre fejlesztéséért Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji és William D. Phillips 1997-ben Nobel-díjat kapott. Meg is érdemelték, mert a céziumgáz hőmérsékletét az abszolút nulla fok közvetlen közelébe (egymilliomod Kelvin-fokra) sikerült csökkenteni. Az így lehűtött céziumatom gázlabdát a két függőlegesen sugárzó lézer paramétereinek változtatásával óvatosan felfelé taszítják. Ezek után a függőlegesen sugárzó lézereket kikapcsolják, aminek hatására az atomok – mint egy feldobott kő – visszaesnek. (Innen a „cézium-szökőkút” elnevezés. Elképesztő, hogy a lézerek segítségével az atomokkal – mint a léggömbökkel – labdázni lehet.) Az ilyen módon feldobott, majd leeső atomok egy változó frekvenciájú mikrohullámú rezonátorból energiát vesznek fel, amelyet a hetedik, ún. próbálézer nyalábjának terébe érve kisugároznak. E sugárzás intenzitását egy detektor érzékeli és regisztrálja. Az intenzitás a mikrohullámú tér frekvenciájától függ. A maximális intenzitáshoz tartozó mikrohullámú frekvencia periódusidejének 9 192 613 770-szeresét egy megfelelő elektronika másodpercekké,

Doppler-elv:

a megfigyelő és a sugárforrás relatív mozgásából származó hatás, melynek értelmében a sugárzás hullámhossza megváltozik. Ha a sugárforrás távolodik/közeledik a megfigyelőtől/höz, akkor a megfigyelő által detektált frekvencia kisebb/nagyobb lesz, mint nyugvó forrás esetén lenne.

percekké, órákká, napokká stb. alakítja át. A NIST F1 atomóra pontossága $2 \cdot 10^{-15}$, amit nem tudományos egységekben úgy lehet például kifejezni, hogy ha az atomórát Krisztus születésekor indították volna el, akkor mára az óra késése vagy sietése még mindig kisebb lenne, mint egy tízezred másodperc. A NIST F1 atomóra a világ kevésbé pontos atomóráinak – például a 24 GPS műhold atomóráinak – taktusadó karmestere, amely egy rádióadó-rendszer segítségével a világ atomóráinak járását ellenőrzi és – szükség esetén saját NIST F1 idejéhez igazítva – egyszerre ketyegteti.

A NIST F1 atomóra nem kevesebb mint hét lézert tartalmaz, így ez az atomóra is igazolja azt az általános érvényű megfigyelésemet, hogy ha valamit nagyon pontosan kell megmérni, akkor a mérés technikai arzenálból előbb-utóbb előkerülnek a lézerek.

A NIST F1 2005-ben várhatóan nyugdíjba vonul, és egy nemzetközi űrállomásra telepített, lézerrel hűtött atomóra veszi át a karmester szerepét, ugyanis a súlytalanság állapotában az atomóra járása még pontosabb lesz, mint a Földön.

Száloptikai hírközlés

A klasszikus távközlési rendszerekben elektromos vezetékeken vagy nagyfrekvenciás kábelekben terjedő elektromos jelek továbbítják az információt. A száloptikai hírközlésben kvarcból készült **optikai szál**ban terjedő, lézerből származó fényimpulzusok hordozzák az információt. Az optikai szál egy magas törésmutatójú magból és egy alacsony törésmutatójú köpenyből áll. A teljes visszaverődésnek nevezett optikai jelenség miatt az optikai szálba becsatolt fény a magba csapdázódva, gyakorlatilag veszteség nélkül terjed. Az optikai szálak információátviteli kapacitása sokkal nagyobb, mint a mikro-hullámú rendszereké.

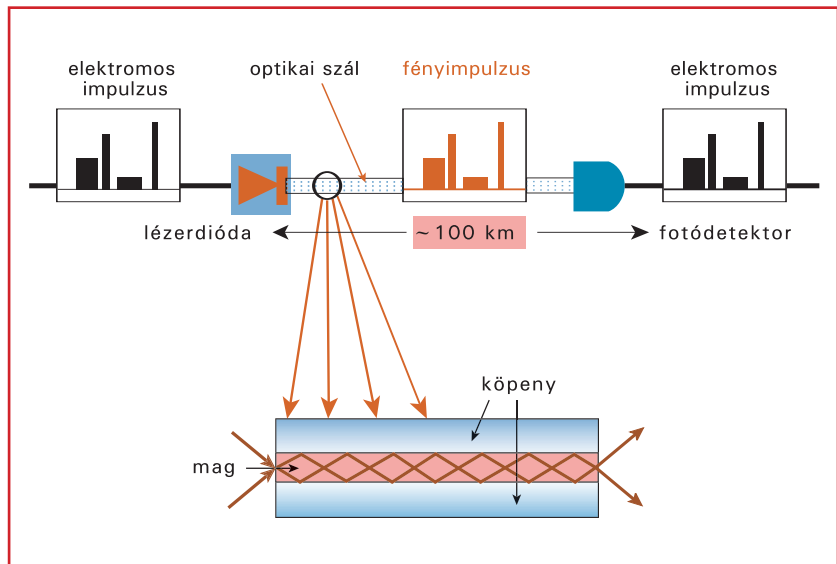
Optikai szál:

legtöbbször üvegből vagy műanyagból húzott vékony szál, mely egy nagyobb törésmutatójú magból és az ezt beburkoló köpenyből áll. Az optikai szálakban a fény, teljes visszaverődés útján, csekély veszteséggel terjedhet.



Optikai szálak

Száloptikai hírközlés vázlatos ábrája



Lézerirányítású bomba

A pilóta vagy a szárazföldön bátran megbúvó harcos egy ún. célkijelölő lézerrel rávilágít a megsemmisítendő céltárgyra, mintha megjelölné egy mutatópálcával. A lézerirányítású bomba orrában lévő optikát és elektronikát a gyártás során arra tanították meg, hogy a bombát pontosan a célkijelölő lézer fényfoltjára vezesse. Így a bomba találati pontossága méteres nagyságrendűre javítható. A technológiai fölény birtokában lévő országok az ilyen bombákat arra szokták felhasználni, hogy antidemokratikus, sa nyilvánított országokat időnként demokratikussá bombázzanak. – Azt nem tudom, hogy a világ ettől jobb lesz-e vagy sem, ugyanis a történelem arra tanított, hogy a technológiai fölény és a jó szándék nem mindig jár együtt.

LIDAR:

a radar szinonimájaként képzett angol betűszó (LIght Detection And Ranging) olyan rendszereket jelent, melyek a légköri szennyezések nyomon követéséhez mikrohullám helyett fénysugarakat használnak. Abban az esetben, ha a fényforrás lézer, az eszközt vagy lézerradarnak, vagy angol nyelvterületen LADAR-nak is szokták hívni.

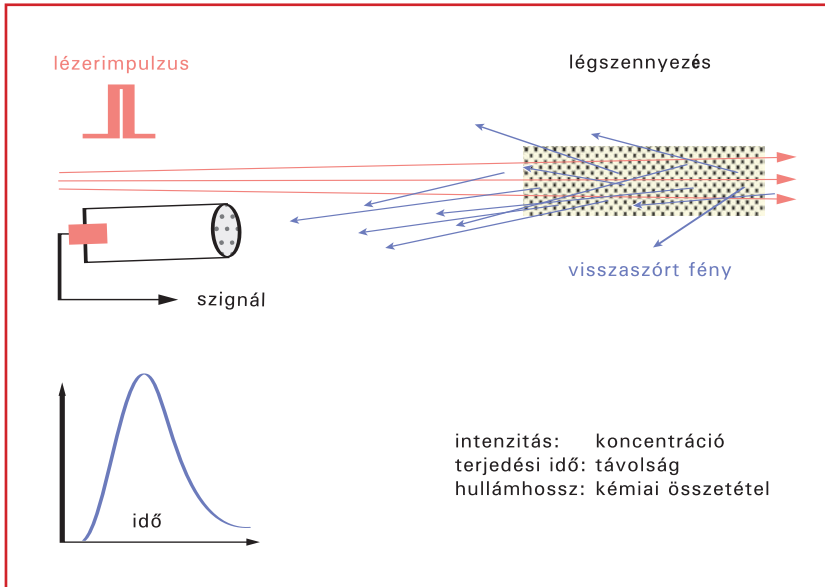
Különleges alkalmazások

Ebben a részben olyan alkalmazásokat ismertetek, amelyekben vagy a lézer, vagy a felhasználás, vagy pedig mindkettő különleges.

LIDAR, azaz a radar-elvet felhasználó lézeres távérzékelés

A radar-elvet felhasználó lézeres távérzékelés (LIDAR) során a levegőbe rövid lézerimpulzust bocsátanak ki. A légszennyeződések a lézerimpulzus szóródást szenvednek. A visszaszórt fény intenzitását, és annak időbeli lefutását a lézer közelében lévő fénydetektor regisztrálja. A visszajutó fény intenzitása a szennyeződés koncentrációjával arányos. Ismerve a fény terje-

dési sebességét, a jel időbeli alakjából kiszámítható a szórócentrumok távolsága a detektortól; a visszaszórt fény színéből pedig a légszennyeződés kémiai minősége azonosítható. Ilyen módon a szennyeződések térbeli eloszlása, koncentrációja és anyagi minősége érintésmentesen, távolról (pl. az űrből) meghatározható. LIDAR-ral különböző légszennyeződések, a magas légköri ózon mennyisége, továbbá a szélsébség, sőt a hőmérséklet is megmérhető.



LIDAR, radar-elvet felhasználó lézeres távérzékelés

Gyorsfényképezés

Az ilyen felvételek 1 mikroszekundum ideig felvillanó vakuval készülnek. A puska lövedék vagy tejcsepp 1 mikroszekundum alatt gyakorlatilag nem mozdul el, így az alma szétrobbanásának vagy a csepp képződésének folyamata jól nyomon követhető. A legrövidebb lézerfelvillanások időtartama a 10 femtoszekundumos tartományban van, amely százmilliószor rövidebb, mint az 1 mikroszekundum. Az ilyen rövid impulzusokkal százmilliószor gyorsabb folyamatok (pl. kémiai reakciók, molekulák keletkezése, elektronikus eszközök működése) is lefényképezhetők úgy, hogy a folyamat fázisait ki lehet merevíteni egymás után következő állóképeként.

Permanens szőrtelenítés

Ha a bőrt megfelelő impulzusidejű, energiájú és hullámhosszú lézerimpulzussal megvilágítjuk, az erős fényelnyeléssel rendelkező szőrtüszők hőmérséklete hirtelen megemelkedik, ennek hatására a szőrtüsző elhal, és idővel kihullik. A szépségipar nagy üzlet, a lézeres epilátorok gyártói közül sokan meggazdagodtak.

Tetoválás lézeres eltávolítása

Szerelmes kamaszok gyakran elkövetik azt a hibát, hogy testükre pillanatnyi kedvesük nevét tetoválják, nem tudván azt, hogy a tetoválás tartósabb, mint a szerelem. Az ilyen, aktualitásukat veszítő feliratok súlyosan terhelik az újabb kapcsolatok kibontakozását. A mindentudó lézertechnika ebben az esetben is segíthet. A tetoválás festékanyaga ugyanis jól elnyeli az ún. rubin és neodímium lézerek sugárzását, melynek hatására a festék kémiaiilag szétbomlik, színét veszti, majd felszívódik; a lézer mintegy kiradírozza a tetoválást.

Égig érő villámhárító

Törőképesseg:

egy optikai lencse törőképességén fókusz távolságának reciprokát értjük. Minél erősebben képes egy törőfelület vagy lencse a ráeső sugarak összegyűjtésére, annál nagyobb a törőképessége. A törőképesség mértékegysége a dioptria.

A villámoknak van egy rossz szokása: előszeretettel csapnak bele az indítóállványon veszteglő vagy a több kilométer magasságban haladó rakétákba, megzavarva ezzel az érzékeny fedélzeti elektronikák működését. A lézertechnika itt is segíthet: az indítóállvány mellett nagy teljesítményű ultraibolya lézerimpulzusokkal egy függőleges nyaláb mentén a levegőt elektromos szempontból vezetővé teszik (ionizálják). Az ioncsatorna villámhárítóként működik: levezeti a légkörben felgyülemlett elektrosztatikus töltéseket, megvédve ezzel a rakétát a villámcsapástól.

Térhatású fotográfia

Ha egy bonyolult alakú objektumot lézerfényvel keltett interferencia-csíkokkal megvilágítanak, akkor a mélység szerint változó intenzitású csíkrendszer plasztikusan érzékelteti az objektum lankáit és domborulatait. Az eljárással az ipari alkalmazások szempontjából fontos tárgyak alakja is megjeleníthető.



Moiré fotográfia (3 dimenziós fényképezés)

Szaruhártya-szobrászat

A lézerek orvosi alkalmazásainak se szeri, se száma. Ezek közül egy szemészeti eljárást ismertetek. Az egészséges, jól látó szem optikai komponensei (a szaruhártya és a szemlencse) a párhuzamos fénysugarakat pontosan a fényérzékeny ideghártyára fókuszálják, így az ideghártyán egy tökéletesen éles kép jelenik meg. A rövidlátó szem szaruhártyája túlságosan görbült, **törőképessége** a kelleténél nagyobb, így a párhuzamos nyalábot az ideghártya elé fókuszálja, ezért az ideghártyán homályos kép jelenik meg, amit a szem tulajdonosa úgy észlel, hogy nem lát élesen. A távollátó szem szaruhártyája ezzel szemben a szükségesnél laposabb, ezért törőképessége a kelleténél kisebb, így a párhuzamos nyalábot az ideghártya mögé fókuszálja, ezért az ideghártyán homályos kép jelenik meg, azaz a szem tulajdonosa ebben az esetben sem lát

élesen. A rövidlátás és a távollátás korrigálására szóró-, illetve gyűjtőlencsét alkalmaznak szemüveg vagy kontaktlencse formájában.

Az utóbbi években elterjedőben van egy **LASIK**-nek nevezett műtéti eljárás, melynek során az éleslátás eléréséhez szükséges lencsét a szaruhártyából lézer segítségével alakítják ki. Ez technikailag két lépésben történik. Az első lépésben egy **mikrokeratom**nak nevezett késsel a szaruhártyából egy 0,15 mm vastagságú lebenyt alakítanak ki. Második lépésben a lebenyt felhajtják, és egy ún. excimer lézer segítségével a szükséges korrekciónak megfelelő alakú és vastagságú lencsét marnak ki a szaruhártyából. Ezek után a lebenyt visszahajtják, amely rövid idő alatt visszatapad és rögzül. A műtét eredményeképpen a szaruhártya görbülete éppen megfelelő lesz, biztosítva az éles, homálymentes optikai leképezést. Az eljárást olyan tökélyre fejlesztették, hogy a szem törőképeségének hibája általában már a műtét másnapján fél dioptriánál kisebb. Az eljárás kritikus mozzanata a lebeny vágása. (A kb. 0,5 mm vastag szaruhártyából egy papír vékonyságú, tökéletesen párhuzamos, sima felületű lebenyt kell kivágni egy gyaluhoz hasonló, rezgő nyelven motorizált késsel. Ehhez tökéletes eszközre és biztos kezű orvosra van szükség.)

Juhász Tibor, Szegeden végzett fizikus irányításával az egyesült államokbeli Irvine-ban az Intralase Inc. vállalkozás egy új, lézer alapú lebenyvágó eszközt fejlesztett ki, melynek működési elve a következő: egy 0,6 pikoszekundum időtartamú lézerimpulzust egy tökéletes lencserendszer segítségével lefokuszálnak a szaruhártya felülete alá 0,15 mm mélységbe (1 pikoszekundum egy másodperc milliomodrészének egymilliomod része). Ennek hatására a szaruhártyában egy mikrorobbanás jön létre, amely egy kb. 0,01 mm átmérőjű buborékot hoz létre a szaruhártyában. A lézer másodpercenként tízezer impulzust bocsát ki. Egy precíziós számítógép-vezérelt tükörrendszer a lézernyalábot spirális alakban úgy pásztázza, hogy az egy perc alatt több mint félmillió, egymással szorosan érintkező buborékot hoz létre, ami végeredményben egy, a szaruhártya felületével párhuzamos vágási síkot eredményez, kiváltva ezzel a mechanikus mikrokeratomot. A lézer alapú Intralase-keratommal eddig végzett harmincezer műtét azt mutatta, hogy a lézer alapú keratom számos előnnyel rendelkezik a mechanikus keratomokkal szemben.

Az Intralase Inc. kutatásfejlesztési részlegében a munkanyelv magyar is lehetne, ugyanis az ott dolgozók közül Juhász Tibor és Ráksi Ferenc Szegeden végzett fizikus, Goldstein Péter és Hegedűs Imre számítástechnikai szakember, Nagy László virtuóz mechanikus. Az Intralase műtéti eljárás engedélyezéséhez szükséges klinikai vizsgálatokat Budapesten, a Margit-szigeten Ratkay Imola doktornő végezte. A munkatársak közül Zadoyan Ruben örömmel, nem tud magyarul, de neki a másik örmény munkatársunk, Djotyan Gagik könnyen tudna fordítani, ő ugyanis tíz éve Magyarországon él. Carlos Suarez tíz évvel ezelőtt Juhász Tibor vezetésével szerzett doktori fokozatot, így elég sok ragadt rá a magyar nyelvből. A baj csak Christopher Horváthtal van, aki ugyan magyar származású, de Németországban nőtt fel, és így nem tanult meg magyarul. Ezért azután közös kommunikációs csatornaként a kutatói nyelvérzék által kerékbe tört gondolt kell használnunk.

LASIK:

a LAser in SItu Keratomilleusis angol kifejezésből származó rövidítés. Egy műtéti eljárást fed, melynek során az éleslátás eléréséhez szükséges lencsét a szaruhártyából lézer segítségével alakítják ki.

Mikrokeratom:

egy gyaluhoz hasonló, rezgő nyelven motorizált kés, mellyel a szemsebész a kb. 0,5 mm vastag szaruhártyából egy 0,15 mm vastagságú lebenyt vág ki/hámoz le.



Holografikus biztonsági jelek

Szuperlátás

Az emberi szem a törzsféjlődés egyik csúcsteljesítménye. Elképesztően tökéletes érzékszerv. Ám az evolúció – iskolába nem járván – nem tanult modern fizikát, és ezért elkövetett néhány apró hibát az emberi szem kialakításában. Így azután a szemfenéken létrejövő kép minősége nem éri el az alapvető optikai jelenségek (diffrakció) által szabott legjobb **felbontóképességet**.

Megbízható adatok vannak arra, hogy a látóideghártya, illetve az emberi agy struktúrája elvileg akár hatszor több vizuális információ feldolgozására is képes.

A középső ábra, illetve ennek a bal oldalon lévő felnagyított része azt illusztrálja, hogy milyennek látja az egészséges szemű, jól látó ember a tőle 30 méterre lévő személyeket. A jobb oldali kép azt szemlélteti, milyennek látná az ember a képet, ha szuperlátással rendelkezne.

Az ilyen, ún. szuperlátás eléréséhez az alábbi műszaki feladatokat kell megoldani:

- › minden eddiginél pontosabb optometriai eszközt kell kifejleszteni a szem leképzési hibáinak pontos feltérképezésére;
- › a hibák ismeretében ki kell számítani, hogy a szaruhártya-felület topográfiáján hol, milyen változtatásokat kell végrehajtani a leképzési hibák teljes korrigálására;
- › tovább kell tökéletesíteni a LASIK-eljárást, a beavatkozást végző lézer-rendszer műszaki fejlesztését, hogy a kívánt topográfiai változtatást lézer-technikán alapuló műtėti úton végre lehessen hajtani.

A szakértők véleménye szerint az így korrigált szemmel akár 5 méter távolságból is lehetne újságot olvasni.

A szuperlátás elérésére (eltekintve néhány foglalkozástól – pl. pilóták, sportolók) tömeges klinikai igény valószínűleg nem lesz, de a kifejlesztés alatt lévő technológia várhatóan alkalmas lesz a bonyolult, irreguláris leképezési hibában szenvedő gyengén látók látásának elfogadhatóvá tételére. Erre viszont komoly igény van.

A szuperlátás megvalósításának útjában egyelőre nagyon sok és nagyon komplikált műszaki, technikai és orvosi probléma áll. Jelenleg többek között ilyen jellegű problémák megoldásán is dolgozom.



A normál látás és a szuperlátás összehasonlítása

Felbontóképesség:

egy optikai rendszer azon képességét értjük alatta, hogy mennyire jól tudja a tárgy két egymáshoz közeli, de különálló pontját különálló képpontokká leképezni. A felbontóképességet gyakran vonal/mm-ben adjuk meg, azaz megmondjuk, hogy milyen sűrű vonalsorozat két egymás melletti tagját tudjuk az optikai eszközünkkel különállónak leképezni.

Ajánlott irodalom

Ábrahám György: Optika (24. fejezet). Bp.: Panem–McGraw-Hill, 1997.

Csillag László – Kroó Norbert: A lézerek titkai. Bp. Kozmosz Kv., 1987.

Gáspár Lajos – Kásler Miklós: Laserek az orvosi gyakorlatban. Bp.: Springer Hungarica, 1993.

Harry, John E.: Ipari lézerek és alkalmazásuk. Bp.: Műszaki Kvk., 1979.

Holics László: Fizika. I-II. köt. Bp.: Műszaki Kvk., 1986.

Kock, W. E.: Lasers and Holography. Anchor Books, 1969.

Lengyel Béla A.: Introduction to Laser Physics. New York, Wiley, 1966.

Macaulay, David: Hogy is működik? Bp.: Park, 1991.

Nagy Ernő: A Laser. Bp.: Műszaki K., 1965.

Nussbaum, Allen – Phillips, Richard A.: Modern optika mérnököknek és kutatóknak (15. fejezet). Bp.: Műszaki Kvk., 1982.

Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete. Bp.: Akadémiai K., 1998⁴.

Tóth Tihamér (szerk.): A lézerek klinikai alkalmazása. Bp.: Medicina, 1990.

